



Offenlegungsschrift

(10) DE 102 17 361 A 1

(51) Int. Cl.⁷:

H 01 L 41/083

H 01 L 41/16

F 02 M 51/06

(30) Unionspriorität:
2001-121440 19. 04. 2001 JP

(71) Anmelder:
Denso Corp., Kariya, Aichi, JP

(74) Vertreter:
Tiedtke, Bühlung, Kinne & Partner GbR, 80336
München

(21) Aktenzeichen: 102 17 361.3

(22) Anmeldetag: 18. 4. 2002

(43) Offenlegungstag: 5. 12. 2002

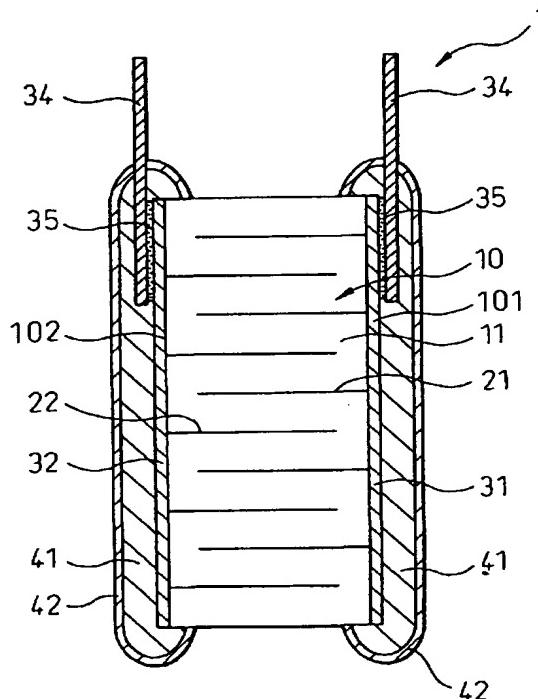
(72) Erfinder:

Sato, Kazuhide, Kariya, Aichi, JP; Tera, Ryonosuke,
Kariya, Aichi, JP; Kawazoe, Naoyuki, Kariya, Aichi,
JP

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Piezoelektrisches Element und damit versehene Einspritzdüse

(57) Offenbart sind ein piezoelektrisches Element (1) und eine mit diesem piezoelektrischen Element versehene Einspritzdüse, die eine so hohe Zuverlässigkeit haben, dass diese sich auch in einer stark feuchten Umgebung nicht verschlechtert, die eine geringe Größe haben, mit geringen Kosten verbunden sind und ein hohes Wärmeabstrahlvermögen aufweisen. Das piezoelektrische Element (1) umfasst eine Keramikaufschichtung (10), die abwechselnd übereinander gestapelt mehrere Keramikschichten (11) aus piezoelektrischer Keramik und mehrere Innenelektrodenenschichten (21, 22) enthält. Auf zumindest einem Teil der Oberfläche der Keramikaufschichtung (10) ist mindestens eine organische Isolationsschicht (41) aus organischem Material ausgebildet, und auf der organischen Isolationsschicht (41) ist mindestens eine anorganische Isolationsschicht (42) aus anorganischem Material ausgebildet.



[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein piezoelektrisches Element, das für einen piezoelektrischen Aktuator verwendet wird, und eine damit versehene Einspritzdüse.

[0002] In den letzten Jahren setzte sich bei piezoelektrischen Elementen, die als piezoelektrischer Aktuator verwendet werden, ein Schichtaufbau durch, der in der Regel 100 bis 700 lediglich 20 bis 200 µm dünne piezoelektrische Keramikschichten und mehrere aus Metall bestehende Innenelektrodenschichten enthält, die abwechselnd übereinander gestapelt sind, um mit geringer Spannung eine große Auslenkung erzeugen zu können.

[0003] Die Innenelektrodenschichten weisen jeweils einen Endabschnitt auf, der an der Seitenfläche der Aufschichtung frei liegt, weswegen die Möglichkeit besteht, dass es zwischen den Innenelektrodenschichten zu einem Kurzschluss kommt. Dagegen wurden verschiedene Maßnahmen ergriffen.

[0004] So wird zum Beispiel an der Seitenfläche der Aufschichtung als isolierende Struktur ein organisches Material angeordnet. Organisches Material hat zwar in normaler Luftatmosphäre eine isolierende Wirkung, allerdings verliert es seine Wirkung, wenn das piezoelektrische Element in einer hochgradig feuchten Atmosphäre oder in einer Flüssigkeit wie Kerosin oder Benzin eingesetzt wird.

[0005] In einer hochgradig feuchten Atmosphäre lässt das organische Material Feuchtigkeit durch, und falls für die Innenelektrodenschichten ein Material der Ag-Gruppe verwendet wird, kommt es zu einem Kurzschluss (Japanische Patentoffenlegungsschrift Nr. 3-12974). Kerosin und Benzin enthalten Wasser und führen daher zu dem gleichen Problem wie eine hochgradig feuchte Atmosphäre. Wenn außerdem der Abstand zwischen den Innenelektrodenschichten (mit, sagen wir, 100 µm) sehr kurz ist, kommt es zwar unter einer hohen Spannung zu keiner Migration, wohl aber zu einem Kurzschluss. Dies liegt daran, dass sich der Isolationswiderstand des piezoelektrischen Elements durch Feuchtigkeitsabsorption verringert. Daher kommt es selbst dann zu einem Kurzschluss, wenn die Innenelektrodenschicht nicht aus Ag, sondern aus einem unedlen Metall wie Kupfer oder Nickel besteht.

[0006] Um den Kurzschluss zu verhindern, wird das piezoelektrische Element gewöhnlich (in trockener Luft) in ein dichtes Metallgehäuse eingebaut (im Folgenden als Kapselaufbau bezeichnet). Durch den Kapselaufbau vergrößert sich jedoch insgesamt das Volumen des Aktuators, weshalb sich zum einen nur schwer die Größe verringern lässt und was zum anderen mit einer größeren Zahl an Bauteilen verbunden ist, sodass sich die Kosten erhöhen oder der Auslenkungsverlust erhöht. Abgesehen davon verschlechtert der Spalt zwischen der Kapsel und dem piezoelektrischen Element das Wärmeabstrahlverhalten.

[0007] Eine andere Maßnahme, den Kurzschluss ohne die Kapsel zu verhindern, besteht darin, zur Isolierung zwei oder mehr Schichten organischen Polymerfilm zu verwenden (Japanische Patentoffenlegungsschriften Nr. 62-88382 und 4-279070). Bei beiden Maßnahmen soll der Feuchtigkeitsdurchgang durch den Einsatz eines organischen Materials verhindert werden, das auf der Außenseite eine hohe Vernetzungsdichte hat. Sofern jedoch ein organisches Material verwendet wird, kommt es auf die eine oder andere Weise immer dazu, dass Feuchtigkeit hindurchgeht, was unweigerlich zu einem Kurzschluss führt.

[0008] Eine weitere Maßnahme besteht darin, den Feuchtigkeitsdurchgang durch Aufbringen eines Metallfilms auf ein organisches Isolationsmaterial zu verhindern (Japanische Patentoffenlegungsschrift Nr. 2-130970). Falls sich in

dem organischen Isolationsmaterial jedoch ein Riss bildet, kommt es zu einem Kurzschluss zwischen dem Metallfilm und den Innenelektrodenschichten der Aufschichtung.

[0009] Darüber hinaus besteht eine weitere Maßnahme darin, einen Film auszubilden, bei dem mehrere anorganische Isolationsmaterialschichten übereinander gelagert werden (Japanische Patentoffenlegungsschrift Nr. 3-155180). Da das anorganische Material jedoch hart ist, kann die Auslenkung während des Betriebs der Aufschichtung nicht absorbiert werden und bilden sich Risse. Die entstandenen Risse lassen Feuchtigkeit herein. In der gleichen Offenlegungsschrift wird außerdem die Maßnahme beschrieben, die Auslenkung durch einen absichtlich vorgesehenen Schlitz zu absorbieren. Allerdings lässt der Schlitz ähnlich wie die Risse Feuchtigkeit durch.

[0010] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein höchst zuverlässiges, kompaktes und preiswertes piezoelektrisches Element, mit dem sich auch in einer sehr feuchten Umgebung ohne Kurzschluss ein gutes Wärmeabstrahlverhalten erreichen lässt, sowie eine mit einem solchen piezoelektrischen Element versehene Einspritzdüse zur Verfügung zu stellen.

[0011] Gemäß einer ersten Ausgestaltung der Erfindung ist ein piezoelektrisches Element vorgesehen, mit: einer Keramikaufschichtung, die abwechselnd übereinander gestapelt mehrere Keramikschichten aus piezoelektrischer Keramik und mehrere Innenelektrodenschichten enthält; mindestens einer organischen Isolationsschicht aus organischem Material, die auf zumindest einem Teil der Oberfläche der Keramikaufschichtung angeordnet ist; und mindestens einer anorganischen Isolationsschicht aus anorganischem Material, die über der organischen Isolationsschicht angeordnet ist.

[0012] Das erfundsgemäße piezoelektrische Element weist auf seiner Oberfläche die organische Isolationsschicht und auf der organischen Isolationsschicht die anorganische Isolationsschicht auf. Dadurch lässt sich das Betriebsverhalten des piezoelektrischen Elements aufrecht erhalten; während gleichzeitig ein Feuchtigkeitseintritt von außen verhindert wird.

[0013] Und zwar hat die organische Isolationsschicht genügend Elastizität, um die Auslenkung des piezoelektrischen Elements zu absorbieren. Dennoch kann die organische Isolationsschicht den Feuchtigkeitsdurchgang nicht aktiv unterbinden und lässt Feuchtigkeit hinein.

[0014] Andererseits kann die anorganische Isolationsschicht den Feuchtigkeitsdurchgang aktiv unterbinden. Die anorganische Isolationsschicht hat jedoch im Großen und Ganzen keine Elastizität und kann die Auslenkung des piezoelektrischen Elements nicht direkt unterdrücken.

[0015] Angesichts dessen ist bei der Erfindung die organische Isolationsschicht direkt auf der Oberfläche des piezoelektrischen Elements und die anorganische Isolationsschicht auf der organischen Isolationsschicht angeordnet. Durch die Elastizität der organischen Isolationsschicht kann daher jede auftretende Auslenkung des piezoelektrischen Elements absorbiert werden, wodurch die Auswirkung auf die äußere anorganische Isolationsschicht unterdrückt wird.

[0016] Die anorganische Isolationsschicht bleibt daher in einem hervorragenden Filmzustand und kann den Feuchtigkeitsdurchgang somit ungeachtet der Auslenkung des piezoelektrischen Elements im Großen und Ganzen ausreichend unterbinden.

[0017] Wenn das piezoelektrische Element mit diesem Aufbau einer hochgradig feuchten Umgebung oder einer Flüssigkeit wie einem Kraftstoff ausgesetzt wird, ermöglicht die Abdeckung der frei liegenden Oberfläche mit der organischen Isolationsschicht und der anorganischen Isolati-

onsschicht es, den Feuchtigkeitsdurchgang in die Oberfläche des piezoelektrischen Elements zu unterbinden. Dadurch wird verhindert, dass sich die an der Seitenfläche des piezoelektrischen Elements frei liegenden Innenelektroden schichten kurzschließen.

[0018] Im Gegensatz zum Stand der Technik wird kein Kapselaufbau benötigt, bei dem das piezoelektrische Element mit einem anderen Bauteil bedeckt wird, was zu einer kleineren Größe, geringeren Kosten und einem besseren Wärmeabstrahlverhalten des Gesamtaufbaus des piezoelektrischen Elements führt.

[0019] Gemäß einer zweiten Ausgestaltung der Erfindung ist eine Einspritzdüse vorgesehen, die so gestaltet ist, dass sich ein Ventilkörper unter Ausnutzung der Auslenkung eines piezoelektrischen Elements öffnet/schließt, um dadurch die Einspritzung von Kraftstoff zu steuern, wobei das piezoelektrische Element in einer Kraftstoffleitung eingebaut ist und dazu angepasst ist, in einem dem Kraftstoff ausgesetzten Zustand zu arbeiten.

[0020] Die erfundungsgemäße Einspritzdüse ist so gestaltet, dass der Ventilkörper durch die Auslenkung des oben beschriebenen, als (piezoelektrischer) Aktuator verwendeten piezoelektrischen Elements geöffnet/geschlossen wird. Das piezoelektrische Element befindet sich in dem Einspritzdüsengehäuse in einem Zustand, in dem es dem Kraftstoff in der Kraftstoffleitung ausgesetzt ist. Das piezoelektrische Element ist von keiner Abdeckung oder dergleichen umgeben. Dadurch lässt sich das piezoelektrische Element in einem kompakten Gehäuse unterbringen und kann insgesamt die Größe der Einspritzdüse verringert werden.

[0021] Darüber hinaus lässt sich durch den direkten Kontakt zwischen dem Kraftstoff und dem piezoelektrischen Element die Abstrahlung der durch die Auslenkung des piezoelektrischen Elements erzeugten Wärme verbessern, wodurch das Leistungsvermögen des piezoelektrischen Elements gesteigert werden kann.

[0022] Die Erfindung stellt daher eine kompakte Hochleistungseinspritzdüse zur Verfügung.

[0023] Anhand der beigefügten Zeichnungen folgt nun eine genauere Beschreibung der Erfindung. In den Zeichnungen zeigen

[0024] Fig. 1 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines piezoelektrischen Elements gemäß einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0025] Fig. 2 eine schematische Darstellung des Aufbaus einer Keramikaufschichtung beim ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0026] die Fig. 3(a) bis 3(c) eine auseinander gezogene Darstellung des Aufbaus einer Keramikaufschichtung beim ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0027] Fig. 4 eine schematische Darstellung des Aufbaus einer Einspritzdüse gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0028] Fig. 5 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines piezoelektrischen Elements gemäß einem Vergleichsbeispiel;

[0029] Fig. 6 eine schematische Darstellung des Aufbaus einer Einspritzdüse gemäß dem Vergleichsbeispiel;

[0030] Fig. 7 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines piezoelektrischen Elements gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0031] Fig. 8 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines piezoelektrischen Elements gemäß einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0032] Fig. 9 eine schematische Darstellung des Aufbaus eines piezoelektrischen Elements gemäß einem fünften Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0033] Fig. 10 eine schematische Darstellung des Aufbaus

eines piezoelektrischen Elements gemäß einem sechsten Ausführungsbeispiel der Erfindung;

[0034] Fig. 11 eine schematische Darstellung mit einem anderen Beispiel für die Keramikaufschichtung bei den Ausführungsbeispielen der Erfindung; und

[0035] Fig. 12 eine schematische Darstellung mit einem weiteren Beispiel für die Keramikaufschichtung bei den Ausführungsbeispielen der Erfindung.

[0036] Bei der ersten Ausgestaltung der Erfindung beträgt

10 die Gesamtdicke der organischen Isolationsschicht vorzugsweise mindestens 1 µm und die Gesamtdicke der anorganischen Isolationsschicht vorzugsweise höchstens 100 µm.

[0037] Falls die Gesamtdicke der organischen Isolationsschicht weniger als 1 µm beträgt, lässt sich die Auslenkung des piezoelektrischen Elements nicht einfach absorbieren. Falls dagegen die Dicke der organischen Isolationsschicht zu groß ist, entsteht in ihr ein Hohlraum, sodass es zu dem Problem eines Isolationsfehlers kommt. Die Gesamtdicke der organischen Isolationsschicht sollte daher vorzugsweise

20 höchstens 100 µm betragen.

[0038] Falls die Gesamtdicke der anorganischen Isolationsschicht mehr als 100 µm beträgt, kommt es durch die Filmspannungen, die bei der Ausbildung eines Films erzeugt werden, leicht zu Rissen (Spannungen, die nach dem

25 bei hohen Temperaturen erfolgenden Ausbilden des Films während des Abkühlens auf Zimmertemperatur durch den unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten mit dem Grundmaterial entstehen). Dies wirft das Problem auf, dass sich die Beständigkeit gegenüber der Auslenkung des

30 piezoelektrischen Elements verschlechtert. Die Gesamtdicke der anorganischen Isolationsschicht beträgt daher besser noch höchstens 30 µm. Um den Feuchtigkeitsdurchgang zu unterbinden, ist andererseits zumindest eine Gesamtdicke der anorganischen Isolationsschicht von mindestens 50 nm

35 erforderlich. Daher liegt die Gesamtdicke der anorganischen Isolationsschicht vorzugsweise im Bereich 50 nm bis 30 µm.

[0039] Die Filmausbildungstemperatur der anorganischen Isolationsschicht beträgt vorzugsweise nicht mehr als

40 300°C. Falls die Temperatur, bei der die anorganische Isolationsschicht ausgebildet wird, 300°C überschreitet, kann sich die darunter liegende organische Isolationsschicht zersetzen. Darüber hinaus kann sich, sofern sie beim piezoelektrischen Element Anwendung finden, der Lötzinn oder das

45 leitende Klebemittel für die Leitung der Elektroden zersetzen. Die Filmausbildungstemperatur der anorganischen Isolationsschicht beträgt daher vorzugsweise höchstens 300°C.

[0040] Die anorganische Isolationsschicht wird vorzugsweise durch Atomlagenepitaxie (ALE-Verfahren) ausgebildet.

50 [0041] Das Profil des piezoelektrischen Elements ist sehr kompliziert und hat die Form einer Stange mit viereckigem, sechseckigem, achteckigem oder anderweitig polygonalen Querschnitt oder kreisförmigem, ellipsenförmigen oder tonnenförmigen Querschnitt. Auf dem piezoelektrischen Element mit dieser sehr komplizierten Form muss eine anorganische Isolationsschicht aufgebracht werden, die frei Fehlern wie feinen Löchern ist. Trockene Filmausbildungsverfahren schließen Sputtern, CVD oder Aufdampfen ein oder lassen sich entsprechend dem Filmerzeugungsmechanismus in Adsorptions- und Abscheideverfahren einklassieren.

[0042] Mit dem Abscheideverfahren lässt sich kein Film mit komplizierter Form gleichmäßig innerhalb kurzer Zeit ausbilden. Die Aufschichtung muss gedreht werden, oder die Filmausbildungsschritte müssen mehrmals wiederholt werden. Mit dem Adsorptionsverfahren lässt sich dagegen auch bei einer komplizierten Form ein gleichmäßiger Film ausbilden.

[0043] Nasse Filmausbildungsverfahren wie Galvanisieren etc. stellen eine weitere mögliche Wahl dar. Da die Aufschichtung während des Filmausbildungsvorgangs befeuchtet wird, ist jedoch nach dem Ausbilden des Films ein Trockenschritt erforderlich. Außerdem lässt sich bei einer komplizierten Form nur schwer eine gleichmäßige Dicke erzielen. Die Erfinder haben festgestellt, dass unter den trockenen Filmausbildungsverfahren der Adsorptionsart das ALE-Verfahren das günstigste ist.

[0044] Beim ALE-Verfahren werden wechselweise zwei oder mehr Ausgangsmaterialien (Elemente oder Legierungen) zugeführt und wächst, indem die Adsorptionsreaktion der Substratoberfläche und der unterschiedliche Dampfdruck zwischen den Ausgangsmaterialien und dem geplanten Produkt ausgenutzt werden, für jeweils eine atomare oder molekulare Lage ein Kristall. Beim ALE-Verfahren entstehen keine feinen Löcher und lässt sich ein dünner Film ausbilden.

[0045] Das übliche ALE-Verfahren, bei dem das mit dem Film zu versehene Objekt auf etwa 300 bis 600°C erhitzt werden muss, konnte bei dem erfundengemäßen piezoelektrischen Element bislang nicht eingesetzt werden. Die Erfinder haben dieses Problem gelöst, indem sie den Film unter Verwendung eines hochreaktiven Materials ausgebildet haben.

[0046] Das anorganische Material für die anorganische Isolationsschicht ist ein Oxid, ein Oxynitrid, ein Nitrid oder ein Carbid aus Ti, Ti, Ta, Sn, Zn, Hf, Si oder Cr oder ein Kohlenstofffilm. Diese Materialien zeigen gegenüber Wasser eine geringe Reaktionsfähigkeit und haben daher eine hohe Korrosionsbeständigkeit. Durch das ALE-Verfahren lässt sich ein dichter Film ausbilden.

[0047] Über der anorganischen Isolationsschicht wird vorzugsweise eine organische Isolationsschicht aus organischem Material ausgebildet. Das organische Material für die organische Isolationsschicht ist vorzugsweise mindestens eines, das aus Naturkautschuk, Isopren, Butadien, Silikon, Urethan, Chloropren, Acryl, Isobutylen und einem Material mit einer Fluorgruppe gewählt ist. Durch die äußere organische Isolationsschicht wird lässt sich daher die anorganische Isolationsschicht schützen und somit eine Beschädigung verhindern.

[0048] Das oben beschriebene piezoelektrische Element kann als piezoelektrischer Aktuator verwendet werden, der in der Kraftstoffleitung einer Einspritzdüse einem Kraftstoff ausgesetzt ist.

[0049] Und zwar kann ein beliebiges der oben beschriebenen piezoelektrischen Elemente verwendet werden, um in die Einspritzdüse gemäß der zweiten Ausgestaltung der Erfindung eingebaut zu werden.

[0050] Die aus den organischen und anorganischen Isolermaterialien bestehende Isolierschicht in dem piezoelektrischen Element zeigt daher auch dann ausreichend die ihr eigene Wirkung, wenn sie dem Kraftstoff in der Einspritzdüse ausgesetzt ist, und kann daher einen Kurzschluss zwischen den Innenelektrodenschichten verhindern.

[0051] Da wie oben beschrieben um das piezoelektrische Element herum keine Abdeckung oder dergleichen benötigt wird, lässt sich das piezoelektrische Element in einem kompakten Gehäuse unterbringen und die Größe der Einspritzdüse insgesamt verringern. Außerdem lässt sich die Fähigkeit des piezoelektrischen Elements verbessern, die während der Auslenkung erzeugte Wärme abzustrahlen, indem der Kraftstoff in direkten Kontakt mit dem piezoelektrischen Element gebracht wird.

Erstes Ausführungsbeispiel

[0052] Unter Bezugnahme auf die Fig. 1, 2 und 3(a) bis 3(c) wird ein piezoelektrisches Element erläutert, das dem ersten Ausführungsbeispiel entspricht.

[0053] Wie in Fig. 1 gezeigt ist, umfasst das piezoelektrische Element 1 dieses Ausführungsbeispiels eine Keramikaufschichtung 10, die übereinander gestapelt mehrere Keramikschichten 11 aus piezoelektrischer Keramik und Innenelektrodenschichten 21, 22 enthält.

[0054] Das piezoelektrische Element 1 weist außerdem mindestens eine organische Isolationsschicht 41 aus organischem Material, die auf zumindest einem Teil der Oberfläche der Keramikaufschichtung 10 ausgebildet ist, und eine anorganische Isolationsschicht 42 aus anorganischem Material auf, die über der organischen Isolationsschicht 41 ausgebildet ist.

[0055] Dieser Aufbau wird im Folgenden ausführlicher beschrieben.

[0056] Wie in den Fig. 2 und 3(a) bis 3(c) zu erkennen ist, ist die Keramikaufschichtung 10 des piezoelektrischen Elements 1 auf eine Weise gestaltet, bei der die Innenelektrodenschichten 21, 22 so ausgebildet sind, dass sie zwischen den Keramikschichten 11 abwechselnd eine positive und negative Polarität annehmen. Wie die Fig. 2 und 3(a) bis 3(c) zeigen, sind die Innenelektrodenschichten 21 in einer Position angeordnet, in der sie an einer Seitenfläche 101 frei liegen, während die Innenelektrodenschichten 22 in einer Position angeordnet sind, in der sie an der anderen Seitenfläche 102 der Keramikaufschichtung 10 frei liegen. Die Seitenflächen 101, 102 der Keramikaufschichtung 10 wurden jeweils durch Einbrennen einer Ag-Paste mit Seitenelektroden 31, 32 versehen, um die jeweils frei liegenden Endabschnitte der Innenelektrodenschichten 21, 22 elektrisch zu verbinden.

[0057] Die Seitenelektroden 31, 32 sind wie in Fig. 1 gezeigt unter Verwendung eines (Epoxydharz und 70 Gew.-% Ag enthaltenden) leitenden Klebemittels 35 mit externen Elektroden 34 aus SUS gekoppelt.

[0058] Die Keramikaufschichtung 10 umfasst, wie in Fig. 2 gezeigt ist, einen Antriebsabschnitt 11, der durch den zentralen Abschnitt entlang der Stapelrichtung gebildet wird, ein Paar Pufferabschnitte 112, die so angeordnet sind, dass sie den Antriebsabschnitt 111 von beiden Seiten bedecken, und ein Paar Blindabschnitte 113, die so angeordnet sind, dass sie die Kombination aus dem Antriebsabschnitt 111 und den Pufferabschnitten 112 von beiden Seiten bedecken. Die Pufferabschnitte 112 und die Blindabschnitte 113 müssen nicht unbedingt vorgesehen werden.

[0059] Die Keramikschichten 11 der Keramikaufschichtung 10 können durch ein Grünlagenverfahren angefertigt werden. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird die Zusammensetzung der Keramiklagen 11 so eingestellt, dass sich schließlich eine piezoelektrische Keramik der sogenannten PZT-Gruppe (PZT: Blei-Zirkonat-Titanat) bildet.

[0060] Die Innenelektrodenschichten 21, 22 können ausgebildet werden, indem auf die Oberfläche einer Grünlage für die Keramikschichten durch Siebdruck eine Paste aus Silber und Palladium aufgebracht wird. Das Material für die Innenelektrodenschichten 21, 22 kann wahlweise auch ein anderes leitendes Material wie Kupfer, Nickel, Platin und Silber oder ein Gemisch davon sein.

[0061] Die Fig. 3(a) bis 3(c) zeigen auseinander gezogene Darstellungen einer Aufschichtung und eines Beispiels für die Grünlagen nach dem Musteraufdruck. Wie in den Fig. 3(a), 3(b) gezeigt ist, ist die Oberfläche jeder Keramikschicht 11 mit Ausnahme eines Umfassung 119 genannten Endabschnitts, an dem Keramikschicht 11 frei liegt, mit der

Innenelektrodenschicht 21 oder 22 aus Ag/Pd-Paste versehen.

[0062] Die Keramikschichten 11 und die Innenelektrodenschichten 21, 22 werden wie in Fig. 3(c) gezeigt übereinander gestapelt, wobei die Innenelektrodenschichten 21, 22 so gestaffelt sind, dass die Umfassungen 119 wechselweise an den Seitenflächen 101, 102 angeordnet sind.

[0063] Dieses Ausführungsbeispiel der Erfindung, das einen Teilelektronenaufbau darstellt, lässt sich mit gleicher Wirkung auch bei einem Vollelektronenaufbau oder einem anderen Aufbau anwenden.

[0064] Die Aufschichtung aus den Keramiklagen 11 und den Innenelektrodenschichten 21, 22 wird durch einen thermischen Verbindungsschritt, einen Entfettungsschritt und einen Brennschritt zu einer zu einer Einheit gebrannten stapelartigen Keramikaufschichtung 10 ausgebildet.

[0065] Nachdem die Seitenelektroden 31, 32 und die externen Elektroden 34 wie in den Fig. 1 und 2 gezeigt angeordnet wurden, wird über der gesamten Seitenfläche der Keramikaufschichtung 10 die organische Isolationsschicht 41 ausgebildet, wonach über diesem Aufbau die anorganische Isolationsschicht 42 ausgebildet wird. Bei diesem Ausführungsbeispiel wird für die organische Isolationsschicht 41 Silikonharz verwendet. Und zwar kommt das Eintauchverfahren zum Einsatz. Die organische Isolationsschicht 41 wird entlang der Stapelrichtung nicht am zentralen Abschnitt der Endflächen ausgebildet, sondern so angeordnet, dass sie die gesamte Seitenfläche der Keramikaufschichtung 10 bedeckt. Die Dicke der organischen Isolationsschicht 41 wird auf 80 µm eingestellt. Anstelle des in diesem Ausführungsbeispiel verwendeten Silikonharzes kann wahlweise auch Polyimidharz, Epoxydharz, Urethanharz oder ein ähnliches Harz verwendet werden.

[0066] Bei diesem Ausführungsbeispiel ist über der organischen Isolationsschicht 41 eine anorganische Isolationsschicht 42 aus 100 nm dickem Al₂O₃ ausgebildet. Die anorganische Isolationsschicht 42 wird durch das ALE-Verfahren (Atomlagenepitaxie) gebildet.

[0067] Es folgt eine kurze Beschreibung des ALE-Verfahrens. In einen Reaktor werden wechselweise ein Gas mit mindestens dem gesättigten Molekulargewicht, das ausreicht, damit es chemisch von einem Substrat (entspricht der organischen Isolationsschicht 41 bei diesem Ausführungsbeispiel) adsorbiert wird, und ein Gas mit mindestens dem mit dem ersten Gas reagierenden gesättigten Molekulargewicht eingeleitet, um einen Film auszubilden. Um die Reaktion in der Gasphase (CVD-Betrieb) zu verhindern, wird das Innere des Reaktors mit einem Gas wie N₂ oder Ar ausgespült.

[0068] Bei diesem Ausführungsbeispiel wird der Film unter Verwendung von TMA (Trimethylaluminium) und H₂O-Gas gebildet. TMA hat die Eigenschaft, mit H₂O selbst bei Zimmertemperatur stark zu reagieren, weswegen sich bei einer Substrattemperatur von etwa 100°C ausreichend ein dünner Al₂O₃-Film bilden kann. Als Oxidationsmittel kann auch ein anderes Gas als H₂O eingesetzt werden. Der dünne Film kann wahlweise auch unter Verwendung von H₂O₂, O₂ oder aktiverem O₃, CH₃OH, C₂H₅OH oder einem ähnlichen Alkohol ausgebildet werden.

[0069] Die Filmausbildungstemperatur der anorganischen Isolationsschicht 42 wird bei diesem Ausführungsbeispiel 42 auf eine Temperatur von nicht mehr als 300°C eingestellt, damit nicht die dem Substrat entsprechende organische Isolationsschicht beschädigt wird.

[0070] Das bei Zimmertemperatur in einer Flasche zu Gas verwandelte TMA und H₂O werden jeweils unter Verwendung eines N₂-Träergases mit einer Rate von 400 sccm in den Reaktor eingeleitet. Das N₂-Gas wird als Spülgas einge-

setzt. Die Einlassdauer für die Filmausbildung beträgt 0,6 s für das in Gas verwandelte TMA und die Spülzeit für das TMA 2,4 s, 1,0 s für das in Gas verwandelte H₂O und 4,0 s für H₂O. Dieser Vorgang wird 5000 Zyklen lang wiederholt, sodass sich ein Film bildet.

[0071] Bei diesem Vorgang ist der Leiterrahmenabschnitt maskiert, um keinen Film auszubilden. Dies geschieht, damit die Verdrahtung in einem sich anschließenden Vorgang durch Löten oder dergleichen mit dem Elektrodenleitungabschnitt gekoppelt werden kann. Wahlweise kann die anorganische Isolationsschicht auch in einem sich anschließenden Vorgang durch Nassätzen oder maskenloses Schleifen entfernt werden.

[0072] Als anorganische Isolationsschicht kann durch das ALE-Verfahren auch unter Verwendung eines NH₃-Gases ein Al_xO_yN_z-Film ausgebildet werden. Es stehen verschiedene ALE-Verfahren zur Verfügung, um N zu Al₂O₃ hinzuzufügen. Bei einem dieser Verfahren wird ein Al_xO_yN_z-Film in einem Zyklus ausgebildet, der die Schritte Einleiten von

TMA, Spülen, Einleiten von H₂O und NH₃, Spülen usw. enthält. Ein weiteres Verfahren besteht darin, in einem Zyklus, der die Schritte Einleiten von TMA, Spülen, Einleiten von H₂O, Spülen, Einleiten von TMA, Spülen, Einleiten von NH₃, Spülen usw. enthält, abwechselnd eine Al₂O₃-Schicht

und eine AlN-Schicht auszubilden. Bei einem anderen Verfahren wird ein dünner Schichtfilm aus Al₂O₃ plus AlN ausgebildet, indem eine gewünschte Anzahl an Zyklen wiederholt wird, die jeweils die Schritte Einleiten von TMA, Spülen, Einleiten von H₂O und NH₃, Spülen usw. enthalten, wobei nach einer gewünschten Anzahl an Zyklen folgt, die jeweils die Schritte Einleiten von TMA, Spülen, Einleiten von NH₃, Spülen usw. enthalten.

[0073] Anstelle des bei diesem Ausführungsbeispiel für die anorganische Isolationsschicht verwendeten Al₂O₃ kann wahlweise auch ein Material wie AlON, SiO₂, TiO₂, Ta₂O₅, SnO₂, ZnO oder ZrO₂ verwendet werden. Eine weitere Wahl stellt Si₃N₄ dar, das im Allgemeinen für Halbleiterbauteile verwendet wird.

[0074] Es folgt nun eine Beschreibung der Arbeitsweise und Wirkungen dieses Ausführungsbeispiels.

[0075] Das piezoelektrische Element 1 dieses Ausführungsbeispiels weist über seiner gesamten Seitenfläche die organische Isolationsschicht 41 auf, die von der anorganischen Isolationsschicht 42 bedeckt ist. Dadurch kann das piezoelektrische Element 1 einen Feuchtigkeitsdurchgang von außen unterbinden, während gleichzeitig seine Betriebseigenschaften aufrecht erhalten werden.

[0076] Die organische Isolationsschicht 41 zeigt dabei eine solche Elastizität, dass sie die Auslenkung des piezoelektrischen Elements 1 absorbiert. Dennoch kann die organische Isolationsschicht 41 die Feuchtigkeit nicht aktiv aussperren, sondern lässt sie durch. Diese Situation bliebe auch dann die gleiche, wenn die Dicke der organischen Isolationsschicht 41 von 10 µm auf, sagen wir, 200 µm erhöht würde.

[0077] Die anorganische Isolationsschicht 42 kann den Feuchtigkeitsdurchgang dagegen aktiv unterbinden. Der anorganischen Isolationsschicht 42 fehlt es allerdings im Großen und Ganzen an Elastizität und sie kann daher die Auslenkung des piezoelektrischen Elements 1 nicht direkt unterdrücken.

[0078] Bei diesem Ausführungsbeispiel ist die organische Isolationsschicht 41 wie gesagt mit der darauf ausgebildeten anorganischen Isolationsschicht 42 direkt über der Seitenfläche des piezoelektrischen Elements 1 angeordnet. Wann immer das piezoelektrische Element 1 ausgelenkt wird, wird daher die Auslenkung durch die Elastizität der organischen Isolationsschicht 41 absorbiert, sodass die Auswirkung der

Auslenkung auf die äußere anorganische Isolationsschicht 42 unterdrückt werden kann.

[0079] Aus diesem Grund behält die anorganische Isolationsschicht 42 ihren hervorragenden Filmzustand beinahe ungeachtet der Auslenkung des piezoelektrischen Elements 1 bei und kann den Feuchtigkeitsdurchgang ausreichend unterbinden.

[0080] Wenn das piezoelektrische Element 1 einer Umgebung mit hoher Feuchtigkeit oder einer Flüssigkeit wie einem Kraftstoff ausgesetzt wird, kann es dank der vorhandenen organischen Isolationsschicht 41 und der anorganischen Isolationsschicht 42 das Eindringen von Feuchtigkeit in die Seitenfläche des piezoelektrischen Elements 1 verhindern. Daher kann ein Kurzschluss der an den Seitenflächen des piezoelektrischen Elements 1 frei liegenden Innenelektroden schichten 21, 22 verhindert werden.

[0081] Dadurch entfällt der herkömmliche Kapselaufbau, bei dem der Umfang des piezoelektrischen Elements von einem anderen Material bedeckt wird. Daher lässt sich der Aufbau des piezoelektrischen Elements bei geringeren Kosten und einem höheren Wärmeabstrahlvermögen insgesamt verkleinern.

Zweites Ausführungsbeispiel

[0082] Dieses Ausführungsbeispiel stellt ein Beispiel für eine Einspritzdüse dar, die so gestaltet ist, dass unter Ausnutzung der Auslenkung des piezoelektrischen Elements des ersten Ausführungsbeispiels ein Ventilkörper betätigt wird, um dadurch die Einspritzung von Kraftstoff zu steuern.

[0083] Die in Fig. 4 gezeigte Einspritzdüse 5 dieses Ausführungsbeispiels kommt bei einem Commonrail-Einspritzsystem für Dieselmotoren zum Einsatz.

[0084] Die Einspritzdüse 5 weist wie in Fig. 4 gezeigt ein oberes Gehäuse 52 zur Aufnahme des die Antriebseinheit bildenden piezoelektrischen Elements 1 und ein unteres Gehäuse 53 auf, das an dem unteren Ende des oberen Gehäuses 52 befestigt ist und mit einem Einspritzdüsenabschnitt 54 ausgebildet ist.

[0085] Das obere Gehäuse 52 ist im Großen und Ganzen zylinderförmig und weist exzentrisch zu seiner Mittelachse ein Längsloch 521 auf, in das das piezoelektrische Element 1 eingepasst ist.

[0086] Parallel zur Seite des Längslochs 521 ist eine Hochdruck-Kraftstoffleitung 522 angeordnet. Der obere Endabschnitt der Kraftstoffleitung 522 steht über ein von dem oberen Gehäuse 52 nach oben vorragendes Kraftstofffeinlassrohr 523 mit einem (nicht gezeigten) externen Commonrail in Verbindung.

[0087] Ein mit einer Ablaufleitung 524 in Verbindung stehendes Kraftstoffauslassrohr 525 ragt von dem oberen Gehäuse 52 aus nach oben, sodass das der durch das Kraftstoffauslassrohr 525 strömende Kraftstoff zu einem (nicht gezeigten) Kraftstofftank zurückgeführt wird.

[0088] Die Ablaufleitung 524 geht durch einen Spalt 50 zwischen dem Längsloch 521 und der Antriebseinheit (piezoelektrisches Element) 1 hindurch und steht über eine nicht gezeigte Leitung mit einem später beschriebenen Dreiwegeventil 551 in Verbindung, die von dem Spalt 50 aus durch das obere und untere Gehäuse 52, 53 nach unten verläuft.

[0089] Der Einspritzdüsenabschnitt 54 enthält eine Düsennadel 541, die senkrecht in einem Kolbenkörper 531 gleiten kann, und ein Einspritzloch 543, das von der Düsennadel 541 geöffnet/geschlossen wird, um in jeden Motorzylinder einen unter hohem Druck stehenden Kraftstoff einzuspritzen, der aus einem Kraftstoffreservoir 542 zugeführt wird. Das Kraftstoffreservoir 542 umgibt den mittleren Abschnitt der Düsennadel 541, wobei sich der untere Endab-

schnitt der Hochdruck-Kraftstoffleitung 522 zu dem Kraftstoffreservoir 542 hin öffnet. Die Düsennadel 541 unterliegt einerseits dem Kraftstoffdruck aus Richtung des Kraftstoffreservoirs 542, der das Ventil öffnet, und andererseits dem Kraftstoffdruck von einer der oberen Endfläche der Düsennadel 541 zugewandten Rückstelldruckkammer 544, der das Ventil schließt. Wenn der Druck der Rückstelldruckkammer 544 fällt, hebt sich die Düsennadel 541 und öffnet sich das Einspritzloch 543, um so den Kraftstoff einzuspritzen.

[0090] Der Druck der Rückstelldruckkammer 544 wird durch das Dreiwegeventil 551 geändert. Das Dreiwegeventil 551 ist so gestaltet, dass die Rückstelldruckkammer 544 selektiv mit der Hochdruck-Kraftstoffleitung 522 oder der Ablaufleitung 524 in Verbindung gebracht wird. Das Dreiwegeventil 551 hat in diesem Fall einen kugelförmigen Ventilkörper, der daran angepasst ist, eine mit der Hochdruck-Kraftstoffleitung 522 oder der Ablaufleitung 524 in Verbindung stehende Öffnung zu öffnen/schließen. Dieser Ventilkörper wird von der Antriebseinheit 1 über einen darunter angeordneten Kolben großen Durchmessers 552, eine Ölindruckkammer 553 und einen Kolben kleinen Durchmessers 554 angetrieben.

[0091] Bei diesem Ausführungsbeispiel kommt als Antriebsquelle für die Einspritzdüse 5 das piezoelektrische Element 1 mit dem oben beschriebenen Aufbau zum Einsatz.

[0092] Wichtig ist dabei die Tatsache, dass das piezoelektrische Element 1 in einer durch das Längsloch 521 gebildeten Niedrigdruck-Kraftstoffleitung angeordnet ist und betrieben wird, während es dem Kraftstoff ausgesetzt ist. Das piezoelektrische Element 1 weist die organische Isolationsschicht 41 und die anorganische Isolationsschicht 42 auf, die die gesamte Seitenfläche seiner Keramikaufschichtung 10 bedecken.

[0093] Mit der Einspritzdüse 5 dieses Ausführungsbeispiels lässt sich daher ohne den Kapselaufbau wie im Stand der Technik ein kompaktes piezoelektrisches Element 1 realisieren und kann die Größe der Einspritzdüse 5 insgesamt verringert werden. Das piezoelektrische Element 1 ist in der Einspritzdüse 5 so angeordnet, dass es dem Kraftstoff in der Kraftstoffleitung ausgesetzt ist. Auch dann, wenn das piezoelektrische Element 1 durch wiederholte Auslenkung Wärme erzeugt, lässt sich daher das Wärmeabstrahlverhalten durch Wärmeübertragung an den Kraftstoff verbessern. Dadurch lässt sich der Temperaturanstieg des piezoelektrischen Elements 1 unterdrücken, sodass ein hohes Leistungsvolumen aufrecht erhalten werden kann.

[0094] Tatsächlich tritt kein Kurzschluss auf, wenn das piezoelektrische Element 1 1000 Stunden lang bei einer Atmosphärentemperatur von 85°C und einer Feuchtigkeit von 85% betrieben wird.

[0095] Die Einspritzdüse dieses Ausführungsbeispiels setzt also zum einen das piezoelektrische Element 1 mit dem im ersten Ausführungsbeispiel beschriebenen Aufbau ein und setzt das piezoelektrische Element 1 zum anderen direkt dem Kraftstoff aus, ohne den Kapselaufbau zu verwenden. Daher lässt sich eine kompakte Hochleistungseinspritzdüse realisieren.

Vergleichsbeispiel

[0096] Um die hervorragenden Eigenschaften des piezoelektrischen Elements 1 des ersten Ausführungsbeispiels abschätzen zu können, wurde als Vergleichsbeispiel ein piezoelektrisches Element 9 mit herkömmlichem Aufbau angefertigt und mit dem piezoelektrischen Element 1 des ersten Ausführungsbeispiels verglichen.

[0097] Das piezoelektrische Element 9 des Vergleichsbeispiels ist in Fig. 5 gezeigt.

[0098] Wie in Fig. 5 gezeigt, besteht das piezoelektrische Element 9 eine organische Isolationsschicht 41 auf, die über der gesamten Seitenfläche der Keramikaufschichtung 10 ausgebildet ist, aber keine Außenschicht. Mit anderen Worten hat das piezoelektrische Element 9 abgesehen von der fehlenden anorganischen Isolationsschicht 42 einen ähnlichen Aufbau wie das erste Ausführungsbeispiel.

[0099] Das piezoelektrische Element 9 (Vergleichsbeispiel) wurde, wie in Fig. 6 gezeigt ist, in eine als Kapselaufbau dienende balgartige Abdeckung 95 eingesetzt und in die Einspritzdüse 5 des zweiten Ausführungsbeispiels eingebaut. Dieses piezoelektrische Element 9 wurde mit dem piezoelektrischen Element 1 des zweiten (ersten) Ausführungsbeispiels verglichen.

[0100] Der Vergleichsgegenstand schloss den Wärmewert ein.

[0101] Unter den gleichen Bedingungen nahm die Temperatur des piezoelektrischen Elements 9 (Vergleichsbeispiel) um 35°C zu, während die Temperatur des piezoelektrischen Elements 1 (erstes Ausführungsbeispiel) um nicht mehr als 5°C zunahm.

[0102] Dies zeigt, dass der Aufbau des piezoelektrischen Elements 1 des ersten Ausführungsbeispiels als Aktuator überlegen ist.

Drittes Ausführungsbeispiel

[0103] Das in Fig. 7 gezeigte piezoelektrische Element 1 dieses Ausführungsbeispiels stellt den Fall dar, dass sämtliche Oberflächen der Keramikaufschichtung 10 einschließlich der Endflächen entlang der Stapelrichtung wie auch der Seitenflächen von der organischen Isolationsschicht 41 und der anorganischen Isolationsschicht 42 bedeckt sind. Die anderen Punkte ähneln denen des ersten Ausführungsbeispiels.

[0104] Der Feuchtigkeitseintritt lässt sich in diesem Fall noch zuverlässiger verhindern. Die Arbeitsweise und Wirkungen entsprechen ansonsten denen des ersten Ausführungsbeispiels.

Viertes Ausführungsbeispiel

[0105] Das in Fig. 8 gezeigte piezoelektrische Element 1 dieses Ausführungsbeispiels stellt den Fall dar, dass die organische Isolationsschicht 41 und die anorganische Isolationsschicht 42 lediglich auf der Seitenfläche der Aufschichtung ausgebildet sind, während auf den Endflächen entlang der Stapelrichtung der Aufschichtung keine Isolationsschicht ausgebildet ist. Die anderen Punkte ähneln denen des ersten Ausführungsbeispiels.

[0106] Die Endflächen entlang der Stapelrichtung können in diesem Fall flach bleiben, weshalb eine größere Fläche gewährleistet ist, um die Auslenkungskraft zu übertragen. Die Arbeitsweise und Wirkungen entsprechen ansonsten denen des ersten Ausführungsbeispiels.

Fünftes Ausführungsbeispiel

[0107] Bei dem in Fig. 9 gezeigten piezoelektrischen Element 1 dieses Ausführungsbeispiels ist an jeder Endfläche entlang der Stapelrichtung der Aufschichtung ein Balgelement 7 angeordnet. Die organische Isolationsschicht 41 und die anorganische Isolationsschicht 42 sind so bemessen, dass sie Fußendabschnitt jedes Balgelements 7 bedecken. Die anderen Punkte ähneln denen des ersten Ausführungsbeispiels.

[0108] In diesem Fall kann das Balgelement 7 die Auslenkung der Aufschichtung absorbieren und lässt sich daher die Auslenkung des organischen Materials und des anorgani-

schen Materials unterdrücken. Die Arbeitsweise und Wirkungen entsprechen ansonsten denen des ersten Ausführungsbeispiels.

Sechstes Ausführungsbeispiel

[0109] Bei diesem in Fig. 10 gezeigten Ausführungsbeispiel ist die organische Isolationsschicht 41 lediglich auf der Seitenfläche des piezoelektrischen Elements 1 ausgebildet, während die anorganische Isolationsschicht 42 so ausgebildet ist, dass sie nicht nur die organische Isolationsschicht 41, sondern auch die gesamte Ober- und Unterseite des piezoelektrischen Elements 1 bedeckt. Dadurch kann die Feuchtigkeitsbeständigkeit des piezoelektrischen Elements weiter verbessert werden.

[0110] Abgesehen von den Ausführungsbeispielen, die oben unter Bezugnahme auf ein in Form eines Viereckstabs vorliegendes piezoelektrisches Element beschrieben wurden, lassen sich eine ähnliche Arbeitsweise und ähnliche Wirkungen auch mit einem Querschnitt der Keramikaufschichtung 10 in Form einer wie in Fig. 11 gezeigten Tonne, oder in Form eines wie in Fig. 12 gezeigten Achtecks oder dergleichen erreichen.

25

Patentansprüche

1. Piezoelektrisches Element (1), mit: einer Keramikaufschichtung (10), die abwechselnd übereinander gestapelt mehrere Keramikschichten (11) aus piezoelektrischer Keramik und mehrere Innenelektroden (21, 22) enthält;

mindestens einer organischen Isolationsschicht (41) aus organischem Material, die auf zumindest einem Teil der Oberfläche der Keramikaufschichtung (10) ausgebildet ist und mindestens einer anorganischen Isolationsschicht (42) aus anorganischem Material, die auf der organischen Isolationsschicht (41) ausgebildet ist.

2. Piezoelektrisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Gesamtdicke der organischen Isolationsschicht (41) mindestens 1 µm und die Gesamtdicke der anorganischen Isolationsschicht (42) höchstens 100 µm beträgt.

3. Piezoelektrisches Element nach Anspruch 2, bei dem die Gesamtdicke der anorganischen Isolationsschicht (42) im Bereich 50 nm bis 30 µm liegt.

4. Piezoelektrisches Element nach Anspruch 1, bei dem die Filmausbildungstemperatur der anorganischen Isolationsschicht (42) nicht mehr als 300°C beträgt.

5. Piezoelektrisches Element nach Anspruch 1, bei dem die anorganische Isolationsschicht (42) durch Atomlagenepitaxie ausgebildet ist.

6. Piezoelektrisches Element nach Anspruch 1, bei dem sich die anorganische Isolationsschicht (42) aus einem anorganischen Material zusammensetzt, das ein aus den Oxiden, den Oxynitriden, den Nitriden und den Carbiden von Ti, Ti, Ta, Sn, Zn, Hf, Si und Cr gewähltes Material oder einen Kohlenstofffilm umfasst.

7. Piezoelektrisches Element nach Anspruch 1, bei dem auf der anorganischen Isolationsschicht (42) ein weiterer organischer Isolationsfilm aus organischem Material ausgebildet ist.

8. Piezoelektrisches Element, mit einer organischen Isolationsschicht (41), die sich aus einem organischen Material zusammensetzt, das mindestens ein aus Naturkautschuk, Isopren, Butadien, Silikon, Urethan, Chloropren, Acryl, Isobutylein und einem Material mit einer Fluorgruppe gewähltes Material umfasst.

40

30

35

40

45

50

55

60

65

9. Piezoelektrisches Element nach Anspruch 1, das in einer Kraftstoffleitung (521) an einer Einspritzdüse (5) angeordnet ist und als ein dem Kraftstoff ausgesetzter piezoelektrischer Aktuator verwendet wird.

10. Einspritzdüse (5), die so gestaltet ist, dass sie unter Ausnutzung der Auslenkung eines piezoelektrischen Elements (1) ein Ventil (551) betätigt, wobei das piezoelektrische Element (1) in einer Kraftstoffleitung (521) eingebaut ist und in einem dem Kraftstoff ausgesetzten Zustand betrieben wird.

11. Einspritzdüse nach Anspruch 10, wobei das piezoelektrische Element (1) in Anspruch 1 beschrieben ist.

Hierzu 10 Seite(n) Zeichnungen

Fig. 1

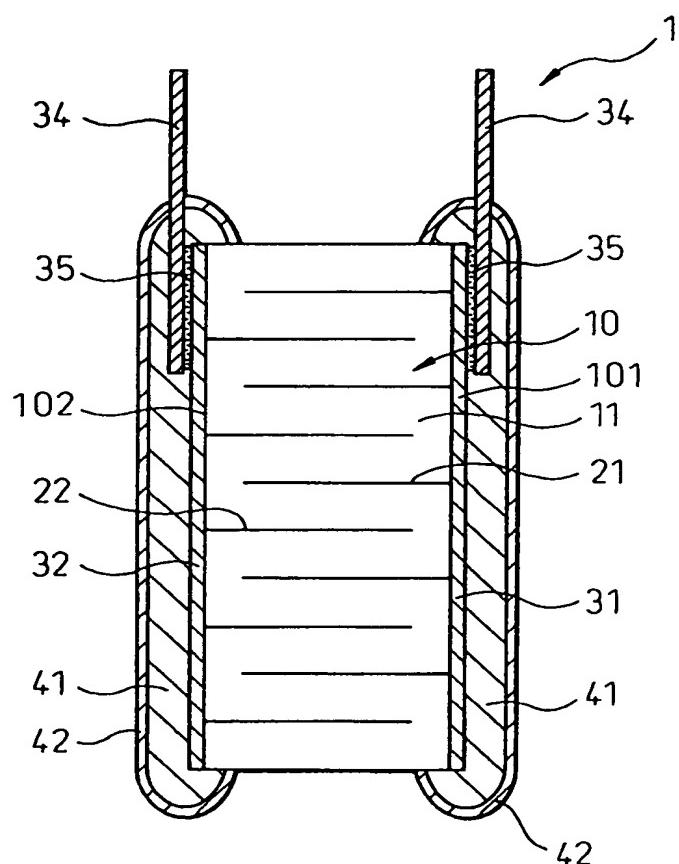


Fig. 2

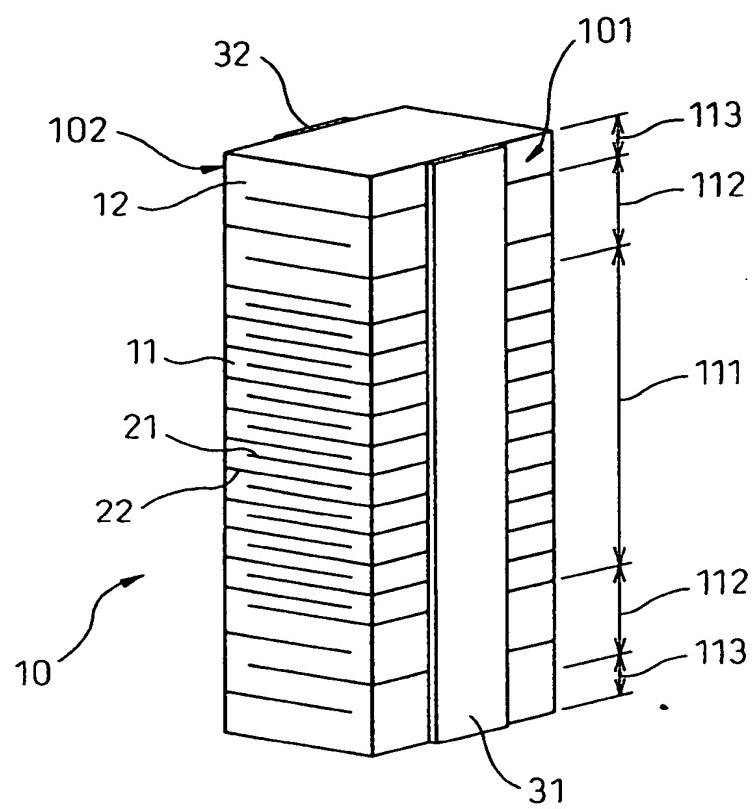


Fig.3(a)

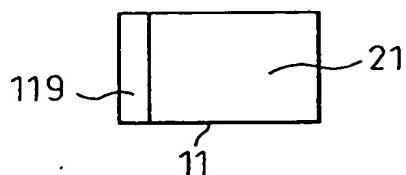


Fig.3(b)

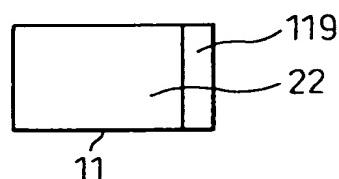


Fig.3(c)

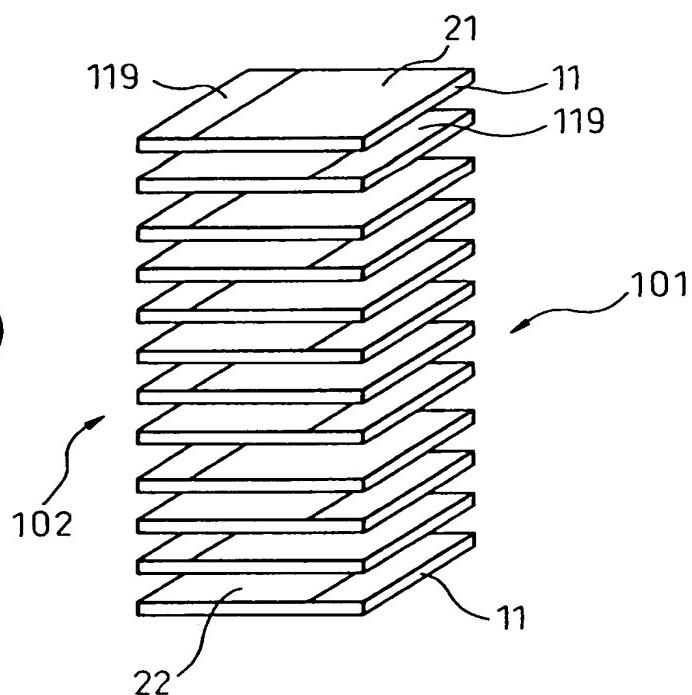


Fig. 4

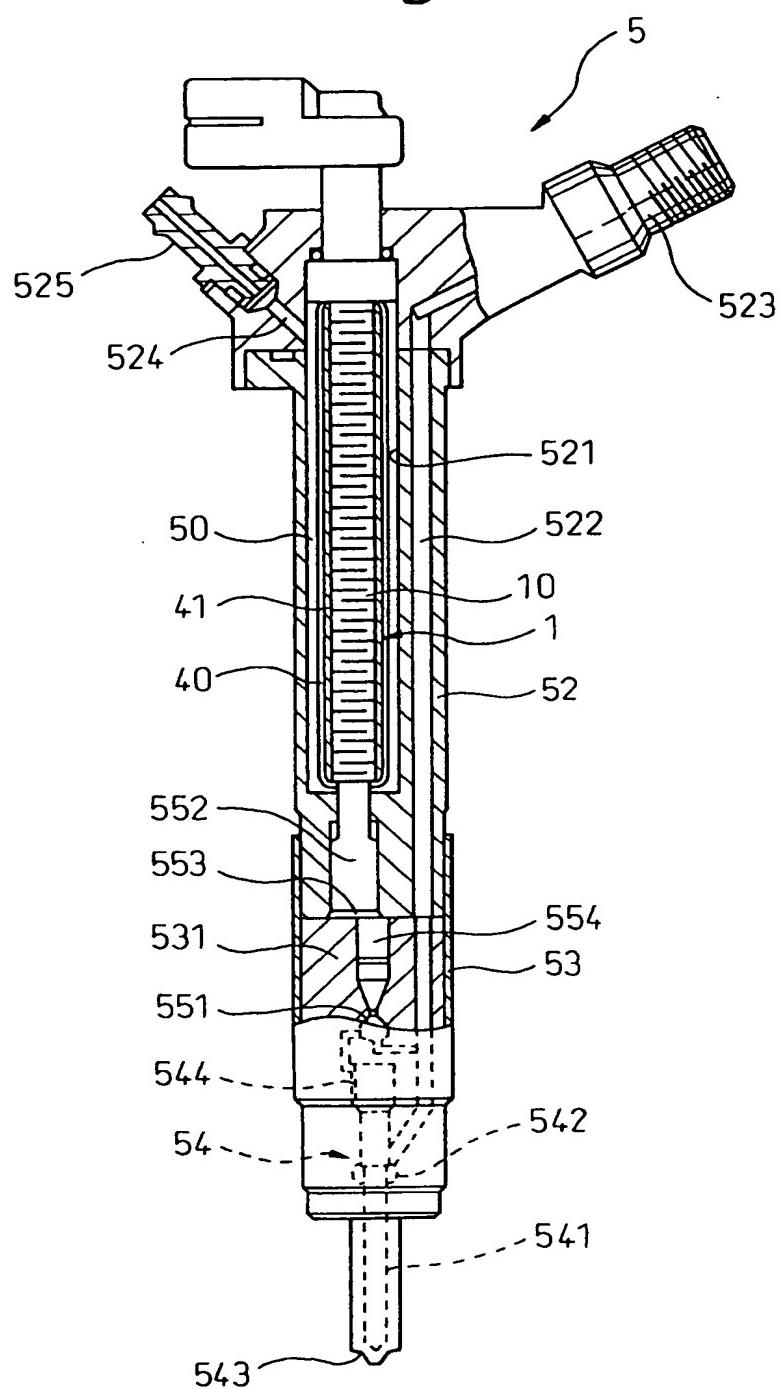


Fig.5

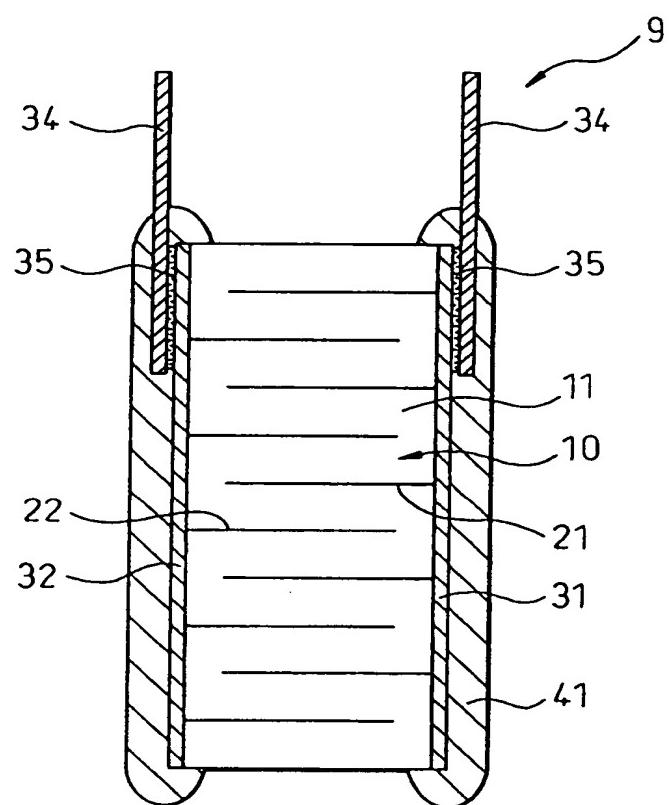


Fig. 6

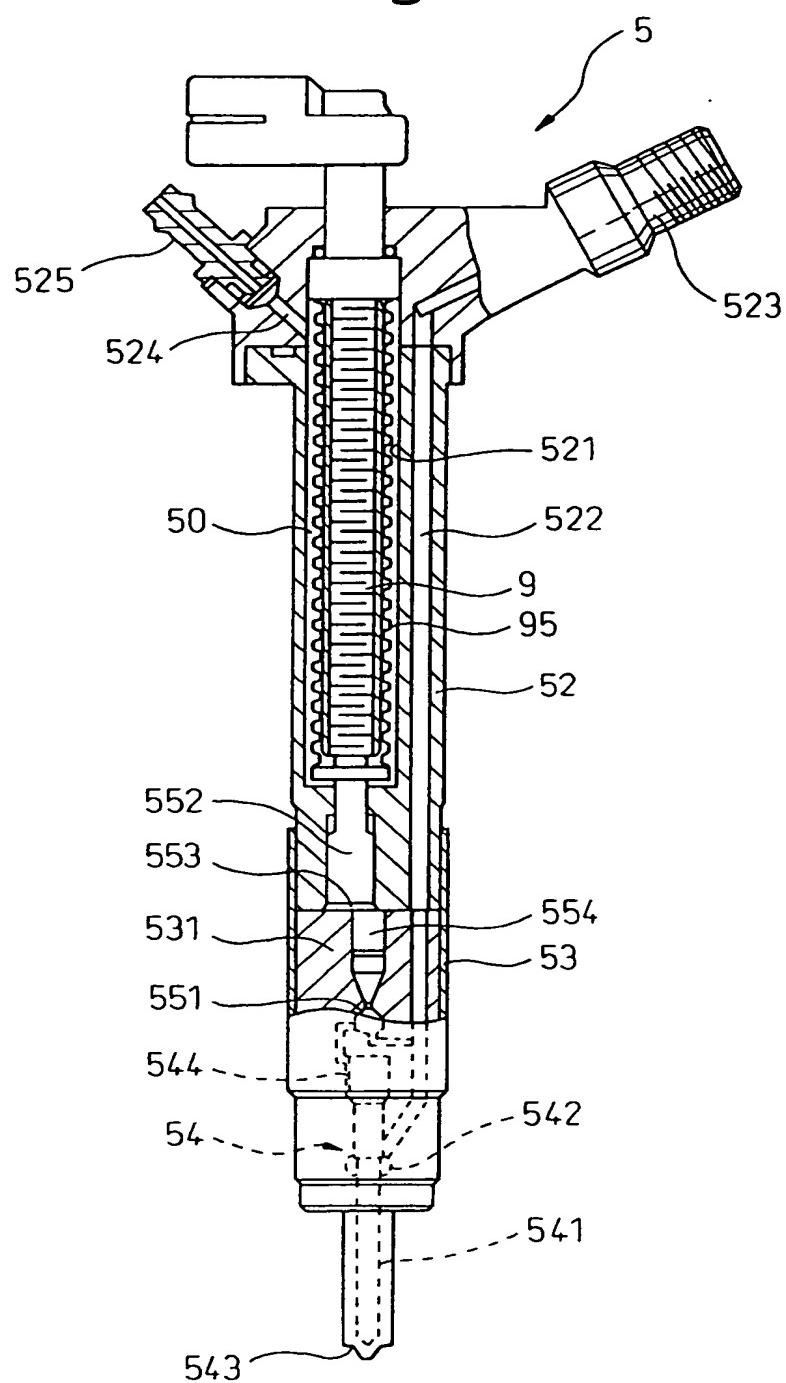


Fig. 7

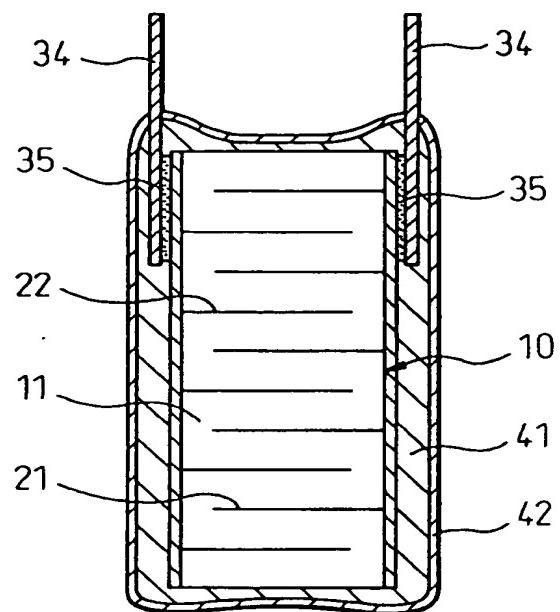


Fig. 8

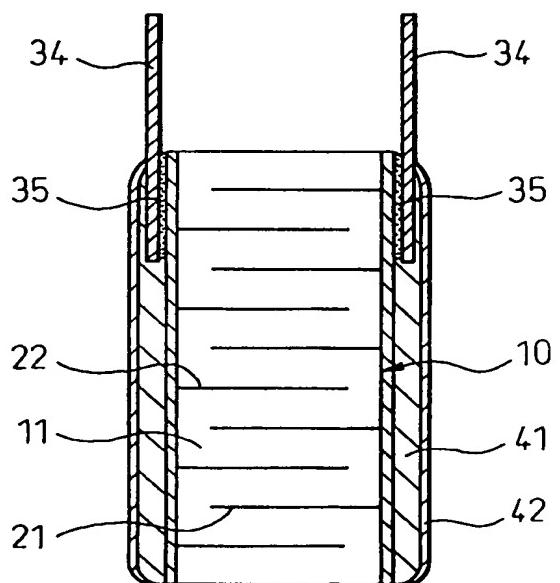


Fig.9

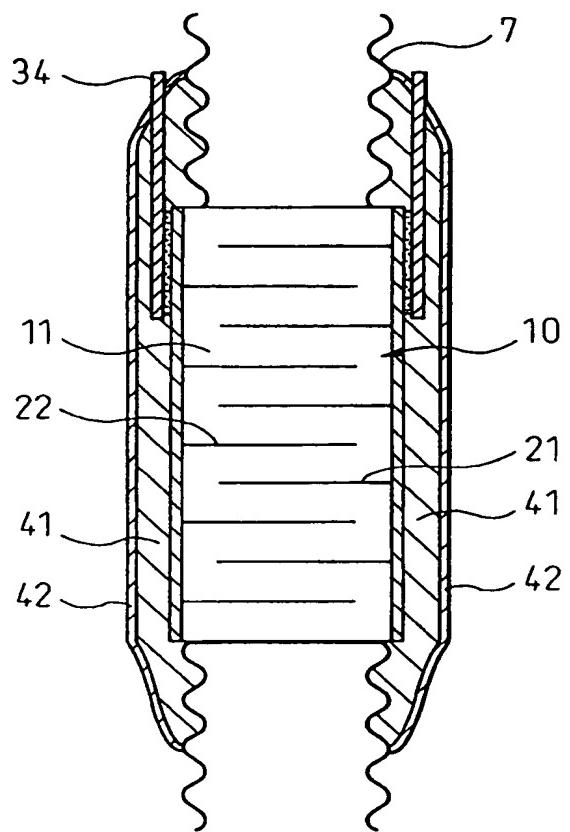


Fig. 10

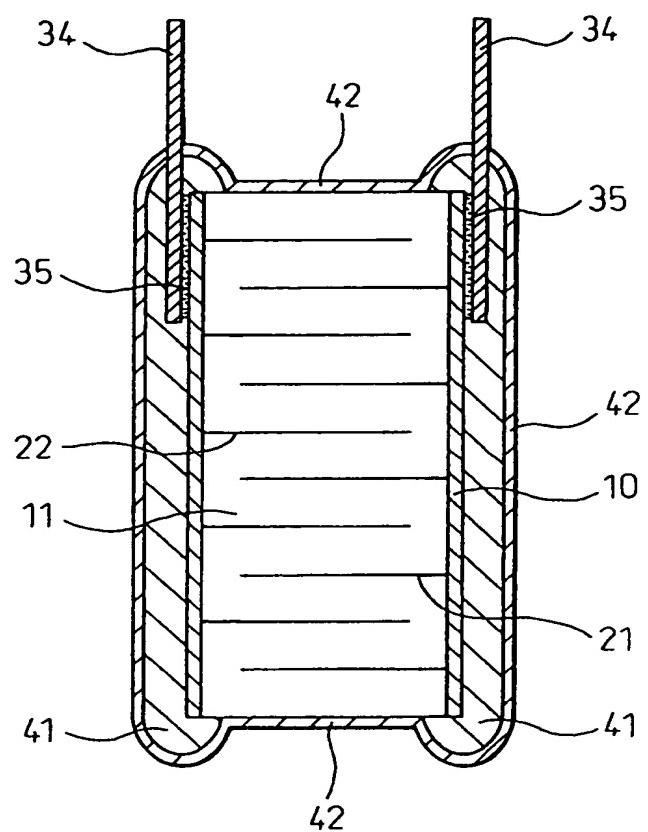


Fig.11

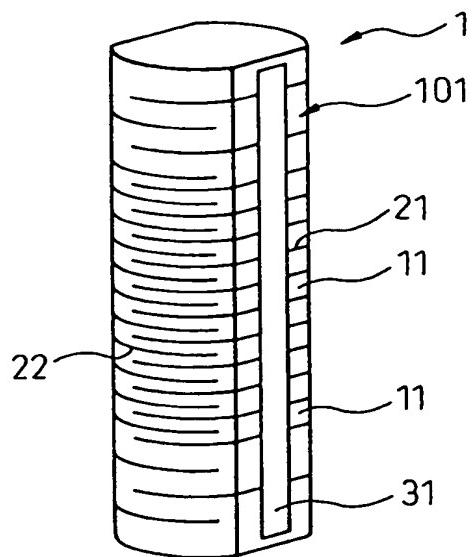
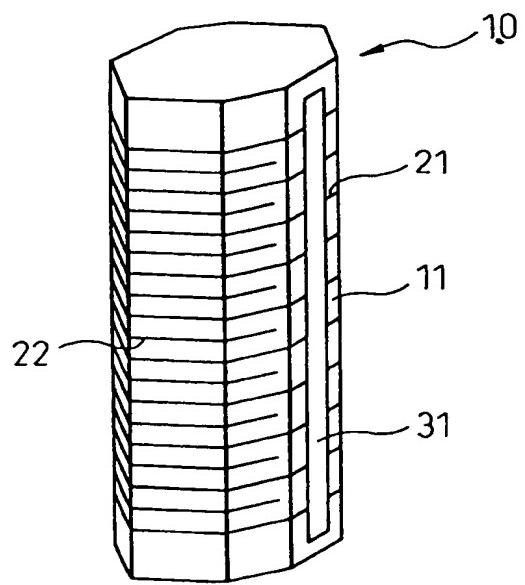


Fig.12



This Page is inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT OR DRAWING
- BLURED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- GRAY SCALE DOCUMENTS
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- REPERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.
As rescanning documents *will not* correct images
problems checked, please do not report the
problems to the IFW Image Problem Mailbox